



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Application of

Inventors : Pierre Vadstrup  
Serial No. : 10/621,642  
Filed : July 17, 2003  
Title : METHOD FOR DETECTING THE MAGNETIC FLUX, THE ROTOR POSITION AND/OR THE ROTATIONAL SPEED  
Group :  
Examiner :  
Docket : VOL 047 P2

Certificate of Mailing  
I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as first class mail in an envelope addressed to the Commissioner for Patents, P. O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on 11/13/2003 (date)

Matthew R. Jenkins  
typed or printed name of person mailing paper or fee

Matthew R. Jenkins  
Signature

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

**SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT  
AND CLAIM TO PRIORITY**

Applicant(s), through its attorney, hereby claims, under 35 USC §119, the benefits of the filing date of their corresponding European patent application No. 02 015 956.2, filed July 18, 2002.

A certified copy of this European application is attached.

Respectfully submitted,

JACOX, MECKSTROTH & JENKINS

By M. R. J.

Matthew R. Jenkins  
Reg. No. 34,844

2310 Far Hills Building  
Dayton, Ohio 45419-1575  
A.C. 937-298-2811

November 9, 2003



-10/621,642



Eur päisches  
Patentamt

European  
Patent Office

Office eur péen  
des brevets

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

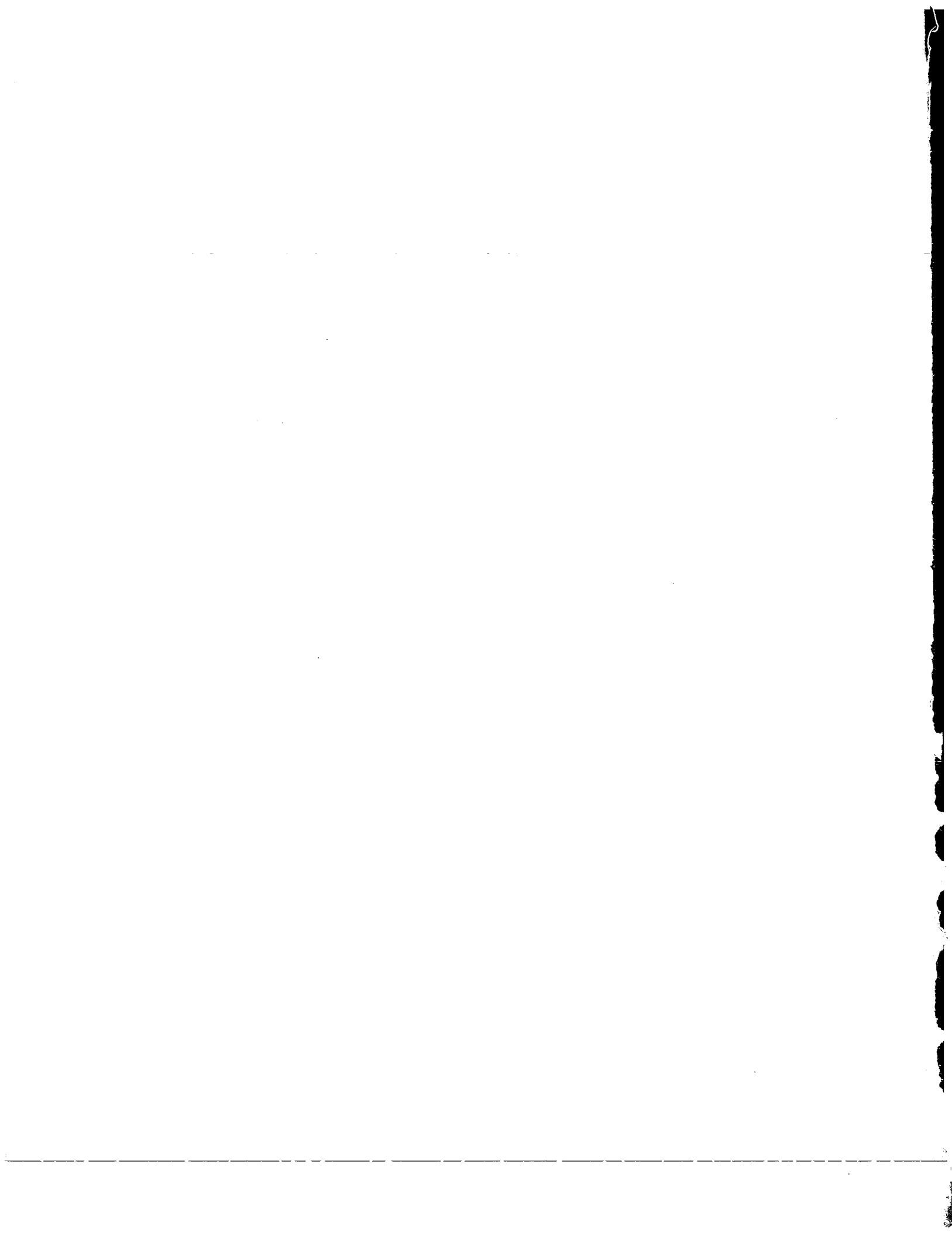
02015956.2

Der Präsident des Europäischen Patentamts;  
im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets  
p.o.

R C van Dijk





Anmeldung Nr:  
Application no.: 02015956.2  
Demande no:

Anmeldetag:  
Date of filing: 18.07.02  
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

GRUNDFOS A/S  
Poul Due Jensens Vej 7-11  
DK-8850 Bjerringbro  
DANEMARK

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:  
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.  
If no title is shown please refer to the description.  
Si aucun titre n'est indiqué se referer à la description.)

Verfahren zum Erfassen des magnetischen Flusses der Rotorposition und/oder der Drehzahl

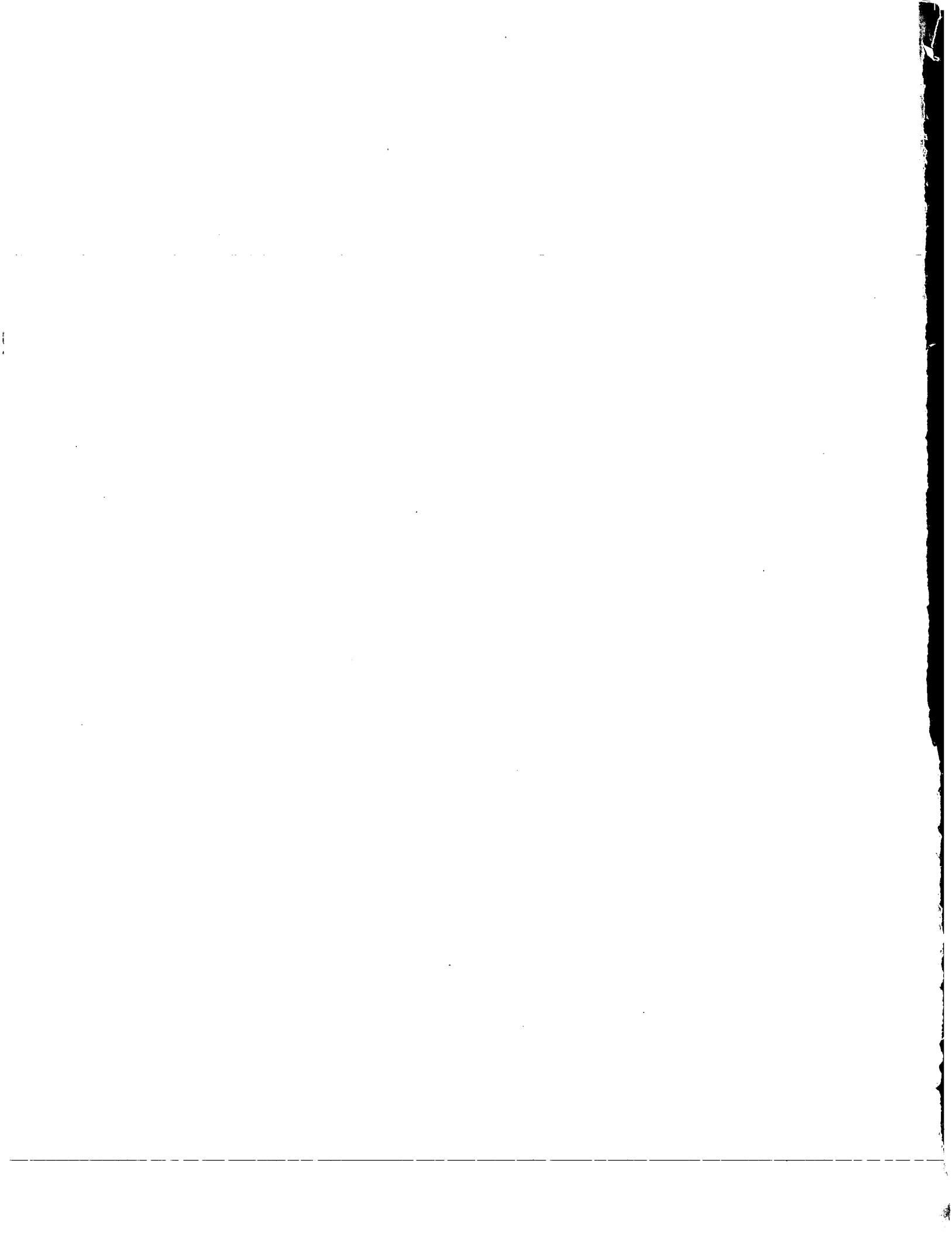
In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)  
revendiquée(s)  
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/  
Classification internationale des brevets:

H02K/

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten/Contracting states designated at date of  
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR



18. Juli 2002

Anmelder: Grundfos a/s

Titel: Verfahren zum Erfassen des magnetischen Flusses der Rotorposition und/oder der Drehzahl

**Beschreibung**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erfassen des magnetischen Flusses der Rotorposition und/oder der Drehzahl des Rotors in einem Ein oder Mehrphasenpermanentmagnet- oder synchronmotor oder generator gemäß den im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen 5 Merkmalen.

Magnetischer Fluss, Rotorposition und Drehzahl sind durch die an sich bekannten Statorspannungsgleichungen:

$$\text{Gleichung (1)} \quad L \cdot i_a = -R \cdot i_a + p \cdot \omega \cdot \psi_{m\beta} + u_\alpha$$

$$\text{Gleichung (2)} \quad L \cdot i_\beta = -R \cdot i_\beta - p \cdot \omega \cdot \psi_{m\alpha} + u_\beta$$

10

in denen	L	die Induktivität
	$i_\alpha$	der Strom in Richtung $\alpha$
	$i_\beta$	der Strom in Richtung $\beta$
	$\dot{i}_\alpha$	die zeitliche Ableitung des Stroms in Richtung $\alpha$
	$\dot{i}_\beta$	die zeitliche Ableitung des Stroms in Richtung $\beta$
	R	der ohmsche Widerstand
	p	die Polpaarzahl
	$\omega$	die Drehzahl des Rotors
	$\psi_{m\alpha}$	der magnetische Fluss in Richtung $\alpha$
	$\psi_{m\beta}$	der magnetische Fluss in Richtung $\beta$
	$u_\alpha$	die Spannung in Richtung $\alpha$
	$u_\beta$	die Spannung in Richtung $\beta$ sind,

- definiert. Wie sich aus diesen Gleichungen ergibt, können die vorgenannten Größen ermittelt werden, wenn Spannung und Strom in den
- 5 Richtungen  $\alpha$  und  $\beta$  bekannt sind. Letztere können als elektrische Daten in einfacher Weise erfasst werden. Allerdings ist dies nach dem Stand der Technik nur möglich, wenn der Betrag des magnetischen Flusses als konstant angenommen wird, da sonst das Gleichungssystem aufgrund zu vieler Unbekannter nicht eindeutig lösbar ist. Da der magnetische
- 10 Fluss tatsächlich aber nicht konstant ist, sondern der Betrag über Zeit und Rotorposition variiert, ist dieses bekannte Verfahren fehlerbehaftet, was dazu führt, dass es für den Einsatz im Steuerungs- und Regelungsprozessen des Motors nur unbedingt geeignet ist.
- 15 Moderne Mehrphasenpermanentmagnetmotoren sind heutzutage häufig mit Leistungselektronik versehen, d. h. die Kommutierung erfolgt elektronisch. Für die Steuerung dieser Kommutierung ist allerdings die Kenntnis der aktuellen Rotorposition von ganz entscheidender Bedeutung, nicht nur um den Motor mit einem hohen Wirkungsgrad betreiben
- 20 zu können, sondern auch um die empfindlichen Bauteile der Leistungselektronik zu schützen und ein besseres dynamisches Verhalten des Antriebs zu erzielen.

Die Drehzahlmessung kann zwar über eine externe Messanordnung

25 noch vergleichsweise einfach erfolgen. Diese exakte Bestimmung der Rotorposition hingegen ist aufwendig.

Andererseits ist man bemüht, diese Werte nach Möglichkeit rechnerisch zu ermitteln, da aufgrund der im Steuer- und Regelteil der Motor-elektronik regelmäßig vorhandenen digitalen Elektronik, entsprechende Rechenleistung zur Verfügung steht oder zumindest mit geringem Aufwand zu Verfügung stellbar ist. Entsprechende Programme zur rechne-

rischen Ermittlung könnten also ohne größeren Aufwand durch Softwareimplementierung integriert werden.

- Vor diesem Hintergrund liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein  
5 gattungsgemäßes Verfahren zur Erfassung des magnetischen Flusses,  
der Rotorposition und/oder der Drehzahl des Rotors in einem Ein oder  
Mehrphasenpermanentmagnet- oder synchronmotor oder -generator  
zu verbessern.
- 10 Diese Aufgabe wird durch die in Anspruch 1 angegebenen Merkmale  
gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteran-  
sprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung angegeben.

Grundgedanke der vorliegenden Erfindung ist es, beim Verfahren zum  
15 Erfassen der vorgenannten Größen die an sich bekannten Statorspan-  
nungsgleichungen einzusetzen, jedoch anders als im Stand der Technik  
nicht den magnetischen Fluss konstant zu setzen, sondern die Energie-  
verhältnisse in dem Magneten des Rotors mit einfließen zu lassen, um so  
die vorgenannten Größen, insbesondere die Rotorposition bzw. deren  
20 zeitliche Ableitung, die Drehzahl genauer bestimmen zu können.

Die vorliegende Erfindung ist sowohl bei Einphasen- als auch bei Mehr-  
phasenpermanentmagnet- oder -synchronmotoren sowie auch ent-  
sprechenden -generatoren anwendbar. Soweit es einphasige Motoren  
25 oder Generatoren betrifft, fällt eine der beiden Statorspannungsglei-  
chungen weg. Im Übrigen wird bei zwei oder mehrphasigen Motoren  
oder Generatoren grundsätzlich mit dem Statorspannungsgleichung für  
zweiphasige Motoren und Generatoren gerechnet, wobei bei drei- und  
mehrphasigen Motoren rechnerisch in an sich bekannter Weise auf ein  
30 zweiphasiges Modell reduziert bzw. transformiert wird, insofern müssen  
dann messtechnisch erfasste Werte entsprechend auf ein zweiphasiges  
Modell umgerechnet werden.

Das vorliegende Verfahren ist insbesondere für Permanentmagnetmotoren vorgesehen, kann jedoch in gleicher Weise auch bei Synchronmotoren oder Generatoren angewendet werden, wobei bei Synchronmotoren oder Generatoren der durch die Rotorspule gebildete

- 5 Magnet anstelle des Permanentmagneten tritt. Eine Generatoranwendung in diesem Sinne kann auch im Zusammenhang mit der Steuerung von mit Leistungselektronik betriebenen Motoren gegeben sein, wenn diese im Generatorbetrieb ins Netz speisen um die Rotorposition des Netzgenerators zu ermitteln.

10

Das erfindungsgemäße Verfahren kann auch für Generatoren angewendet werden, beispielsweise bei der Steuerung

- 15 In Fig. 1 ist ein solches Ersatzschaltbild eines zweiphasigen Permanentmagnetmotors dargestellt, es sind zwei um  $90^\circ$  versetzt zueinander angeordneten Phasen  $\alpha$  und  $\beta$  in einem Stator 1 vorgesehen, die durch zwei Spulen 3 und 4 symbolisiert sind. Innerhalb dieses Stators 1 ist ein Rotor 2 angeordnet, der einen Permanentmagneten 5 mit diametraler  
20 Polaritätsverteilung N und S aufweist, der innerhalb des Stators 1 rotierend gelagert ist.

Um die Energieverhältnisse im Magneten 5 des Rotors 2 zu berücksichtigen, werden die folgenden Gleichungen (3) und (4) eingesetzt.

$$\text{Gleichung} \quad (3) \quad \dot{\psi}_{m\alpha} = -p \cdot \omega \cdot \psi_{m\beta}$$

$$\text{Gleichung} \quad (4) \quad \dot{\psi}_{m\beta} = p \cdot \omega \cdot \psi_{m\alpha}$$

wobei

$\dot{\psi}_{m\alpha}$  die zeitliche Ableitung von  $\psi_{m\alpha}$  und

$\dot{\psi}_{m\beta}$  die zeitliche Ableitung von  $\psi_{m\beta}$  sind.

30

Die Besonderheit dieser Rotorenergiegleichungen liegt darin, dass in die zeitliche Ableitung des magnetischen Flusses in  $\alpha$  - Richtung der magnetische Fluss in  $\beta$  - Richtung einfließt und umgekehrt.

5

Hierdurch ergibt sich ein rechnerisches Motormodell, mit dem beispielsweise wie anhand von Fig. 2 veranschaulicht, elektrische, magnetische und/oder mechanische Werte des Motors ermittelt werden können.

10

In den folgenden in den Figuren blockdiagrammatisch dargestellten Motormodellen ist mit  $\wedge$  jeweils ein errechneter Wert gekennzeichnet, wohingegen bei den ohne  $\wedge$  gekennzeichneten Werten es sich um gemessene Werte handelt.

15

Es versteht sich, dass von den einleitend genannten Größen (magnetischer Fluss, Rotorposition, Drehzahl) jeweils eine ermittelt werden kann, wenn das durch den Block 6 in Fig. 2 symbolisierte Motormodell verwendet wird. Dieses durch den Block 6 symbolisierte Motormodell besteht aus den Gleichungen (1) bis (4), mit denen einer der vorgenannten Werte rechnerisch vergleichsweise genau ermittelt werden kann.

Bei dem Verfahren gemäß Fig. 2 werden die Spannungen  $u_\alpha$  und  $u_\beta$ , d. h. die Statorspannungen in  $\alpha$  - und  $\beta$  - Richtung gemessen oder anderweitig berechnet oder zur Verfügung gestellt, ebenso  $\omega$  die Rotordrehzahl. Diese Größen werden in die Gleichungen (1) bis (4) eingesetzt, so dass rechnerisch die Geschwindigkeit des magnetischen Fluxes  $\omega_{\text{flux}}$ , die Motorströme  $i_\alpha$  in Richtung  $\alpha$  und  $i_\beta$  in Richtung  $\beta$  sowie der magnetische Fluss  $\psi_\alpha$  in Richtung  $\alpha$  und  $\psi_\beta$  in Richtung  $\beta$  ermittelt werden können. Die entsprechend rechnerisch ermittelten Werte sind mit  $\wedge$  gekennzeichnet:

Gleichung (1)  $L \cdot \dot{\hat{i}}_\alpha = -R \cdot \hat{i}_\alpha + p \cdot \hat{\omega} \cdot \hat{\psi}_{m\beta} + u_\alpha$

Gleichung (2)  $L \cdot \dot{\hat{i}}_\beta = -R \cdot \hat{i}_\beta - p \cdot \hat{\omega} \cdot \hat{\psi}_{m\alpha} + u_\beta$

Gleichung (3)  $\dot{\hat{\psi}}_{m\alpha} = -p \cdot \hat{\omega} \cdot \hat{\psi}_{m\beta}$

Gleichung (4)  $\dot{\hat{\psi}}_{m\beta} = p \cdot \hat{\omega} \cdot \hat{\psi}_{m\alpha}$

Aus dem magnetischen Fluss  $\psi_\alpha$  in Richtung  $\alpha$  und  $\psi_\beta$  in Richtung  $\beta$  kann dann mittels eines Winkelkalkulators 7, der die geometrische Bezeichnung gemäß

Gleichung (5)  $\rho = \frac{1}{p} \cdot \text{Arctg} \left( \frac{\psi_{m\beta}}{\psi_{m\alpha}} \right)$

verwendet, die Position  $\rho$  des magnetischen Flusses ermittelt werden. In diesem grundlegenden Motormodell 6 wird die Rotorposition durch Gleichsetzung mit der Position des magnetischen Flusses bestimmt, da von ausgehend, dass diese real stets übereinstimmen.

Da dieses Motormodell 6 in seiner einfachsten Form auch nur eine rechnerische Annäherung an die tatsächlichen Werte darstellt, kann es durch weitere Maßnahmen verbessert werden. Eine solche Verbesserung stellt beispielsweise das anhand von Fig. 3 dargestellte Verfahren dar. Wie die Fig. 3 zeigt, ist auch dort das grundlegende Motormodell 6, bestehend aus den Gleichungen (1) bis (4) zugrunde gelegt, wobei die Statorspannungen  $u$  in Richtung  $\alpha$  und  $\beta$ ,  $u_\alpha$  und  $u_\beta$  sowie die Rotorschwindigkeit  $\omega$  beispielsweise als gemessene Größen in das Modell einfließen. Im Unterschied zu dem Verfahren nach Fig. 2 wird jedoch im Modell 6a nach Fig. 3 der Statorstrom in  $\alpha$ - und  $\beta$ -Richtung, also  $i_\alpha$  und  $i_\beta$  zusätzlich erfasst, mit dem durch das Motormodell 6a ermittelten rechnerischen Stromwerten  $\hat{i}_\alpha$  und  $\hat{i}_\beta$  durch Subtraktion verknüpft (dies ist

$$\text{Gleichung} \quad (1a) \quad L \cdot \dot{\hat{i}}_\alpha = -R \cdot i_\alpha + p \cdot \hat{\omega} \cdot \hat{\psi}_{m\beta} + u_\alpha + v_{1\alpha}$$

$$\text{Gleichung} \quad (2a) \quad L \cdot \dot{\hat{i}}_\beta = -R \cdot i_\beta - p \cdot \hat{\omega} \cdot \hat{\psi}_{m\alpha} + u_\beta + v_{1\beta}$$

$$\text{Gleichung} \quad (3a) \quad \dot{\hat{\psi}}_{m\alpha} = -p \cdot \hat{\omega} \cdot \hat{\psi}_{m\beta} + v_{2\alpha}$$

$$\text{Gleichung} \quad (4a) \quad \dot{\hat{\psi}}_{m\beta} = p \cdot \hat{\omega} \cdot \hat{\psi}_{m\alpha} + v_{2\beta}$$

in denen  $v_{1\alpha}, v_{1\beta}, v_{2\alpha}, v_{2\beta}$  Korrekturglieder sind,

wobei die Korrekturglieder durch einen Korrekturfaktor und die Differenz der errechneten elektrischen Werte und der gemessenen elektrischen Werte wie folgt gebildet sind:

$$5 \quad v_{1\alpha} = K_i \cdot (\hat{i}_\alpha - i_\alpha)$$

$$v_{2\alpha} = -K_\psi \cdot (\hat{i}_\beta - i_\beta)$$

$$v_{1\beta} = K_i \cdot (\hat{i}_\beta - i_\beta)$$

$$v_{2\beta} = K_\psi \cdot (\hat{i}_\alpha - i_\alpha)$$

- Wie aus den vorstehenden Gleichungen ersichtlich, werden die Korrekturglieder  $v_2$  so gebildet, dass sie in den Gleichungen (3a) und (4a) in der einen Phase mittels der Differenz zwischen errechneten und gemessenen Strömen der anderen Phase gebildet wird. Die Größen  $K_i$  und  $K_\psi$  bilden dabei jeweils einen konstanten Faktor.
- 10      In Fig. 4 ist beispielhaft eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt, bei dem neben dem korrigierten Motormodell 6a gemäß Fig. 3 noch eine Weiterbildung dahingehend vorgesehen ist, dass die Rotordrehzahl  $\omega$  rechnerisch ermittelt wird. Bei den Motormodellen gemäß den Fig. 2 und 3 fließt die Rotordrehzahl  $\omega$  als Eingangsgröße ein. Dann wird die Drehzahl üblicherweise sensorisch erfasst, und zwar vorzugsweise mit Hilfe eines Hallsensors, wie dies an sich auch bekannt ist.
- 15      In Fig. 4 ist beispielhaft eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt, bei dem neben dem korrigierten Motormodell 6a gemäß Fig. 3 noch eine Weiterbildung dahingehend vorgesehen ist, dass die Rotordrehzahl  $\omega$  rechnerisch ermittelt wird. Bei den Motormodellen gemäß den Fig. 2 und 3 fließt die Rotordrehzahl  $\omega$  als Eingangsgröße ein. Dann wird die Drehzahl üblicherweise sensorisch erfasst, und zwar vorzugsweise mit Hilfe eines Hallsensors, wie dies an sich auch bekannt ist.

- 20      Es gibt jedoch Konstellationen, bei denen auch die Rotordrehzahl rechnerisch ermittelt werden muss oder bei der die sensorisch ermittelten Messwerte nicht hinreichend genau sind oder zeitlich in nur vergleichsweise großen Abständen zur Verfügung stehen. Für diese Fälle ist in ei-

in Fig. 3 durch die subtraktorische Verknüpfung 8 dargestellt) und der daraus resultierende Wert einem Korrekturglied 9 zugeführt, der in das Motormodell 6a korrigierend mit einfließt. Auf diese Weise wird ein verfeinertes Motormodell 6a und somit ein verbessertes Verfahren zur Er-  
5 mittlung der vorgenannten Werte zur Verfügung gestellt, das aus den Gleichungen (1a), (2a), (3a) und (4a) besteht:

$$\text{Gleichung} \quad (1a) \quad L \cdot \dot{i}_\alpha = -R \cdot i_\alpha + p \cdot \omega \cdot \psi_{m\beta} + u_\alpha + v_{1\alpha}$$

$$\text{Gleichung} \quad (2a) \quad L \cdot \dot{i}_\beta = -R \cdot i_\beta - p \cdot \omega \cdot \psi_{m\alpha} + u_\beta + v_{1\beta}$$

$$\text{Gleichung} \quad (3a) \quad \dot{\psi}_{m\alpha} = -p \cdot \omega \cdot \psi_{m\beta} + v_{2\alpha}$$

$$\text{Gleichung} \quad (4a) \quad \dot{\psi}_{m\beta} = p \cdot \omega \cdot \psi_{m\alpha} + v_{2\beta}$$

in denen  $v_{1\alpha}, v_{1\beta}, v_{2\alpha}, v_{2\beta}$  Korrekturglieder sind.

In dem Verfahren gemäß Fig. 3 sind die gemessenen Statorströme in  $\alpha$ -  
10 und  $\beta$ -Richtung im Vergleich zu den errechneten Strömen in  $\alpha$  und  $\beta$  Richtung als Korrekturglied vorgesehen. Es versteht sich, dass dies nur beispielhaft zu verstehen ist, es können in gleicher Weise die Motorströme in das Motormodell 6 bzw. 6a einfließen und die Motorspannungen rechnerisch ermittelt und gegebenenfalls durch Vergleich mit den tatsächlichen Spannungen als Korrekturglied einfließen. Es können auch  
15 mehrere Korrekturglieder vorgesehen sein, die auf der Basis mehrerer elektrischer Größen aufgebaut sind.

Für das anhand von Fig. 3 beispielhaft dargestellte und vorbeschriebene Verfahren ergeben sich also beispielhaft die folgenden Gleichungen  
20

- ner Weiterbildung der Erfindung ein Adoptionsblock 10 vorgesehen, der mittels eines Drehzahlkorrekturglieds 11, in dem die Differenz zwischen einer angenommen oder errechneten Drehzahl und der vom Motor-  
 modell 6a errechneten Flussgeschwindigkeit  $\omega_{\text{flux}}$  gebildet wird, die er-  
 mittelte Drehzahl an die tatsächliche Rotorgeschwindigkeit annähert  
 bis das Drehzahlkorrekturglied 11 den Wert Null annimmt. Dieses Korrek-  
 turglied 11 ist in Fig. 4 als Ergebnis der im Knotenpunkt 14 erfolgten sub-  
 traktorischen Verknüpfung dargestellt und geht von der Annahme aus,  
 dass die Geschwindigkeit des magnetischen Flusses und die Rotorge-  
 schwindigkeit stets übereinstimmen müssen. Im Adoptionsblock 10 wird  
 also stets die mittels des Drehzahlkorrekturglieds 11 ermittelte Differenz  
 ggf. unter Berücksichtigung eines Korrekturfaktors zu der zuvor ermittel-  
 ten Drehzahl addiert und als neue errechnete Drehzahl ausgegeben.  
 Diese neue errechnete Drehzahl fließt dann einerseits in das Motormo-  
 dell 6a ein und steht andererseits am Knotenpunkt 14 an, der aufgrund  
 der in das Motormodell 6a eingeflossenen neuen Drehzahl auch eine  
 neue Geschwindigkeit des magnetischen Flusses erhält und dadurch  
 ein neues Drehzahlkorrekturglied 11 ausgibt, das den vorbeschriebenen  
 Annäherungsprozeß durch den Adoptionsblock 10 erneut einleitet, bis  
 schließlich das Korrekturglied 11 den Wert Null annimmt, also die Ge-  
 schwindigkeit des magnetischen Flusses, wie sie aus dem Motormodell  
 6a ermittelt wird, und die Rotorgeschwindigkeit, also die errechnete  
 Drehzahl des Rotors, übereinstimmen.
- Innerhalb des Motormodells 6a wird die Geschwindigkeit des magneti-  
 schen Flusses durch zeitliche Ableitung der ermittelten Position des  
 magnetischen Flusses gebildet. Leitet man die Gleichung (5) also zeit-  
 lich ab, um die Geschwindigkeit des magnetischen Flusses zu erhalten  
 und setzt man die Gleichungen (3a) und (4a) in diese abgeleitete Glei-  
 chung (5) ein, so ergibt sich die Geschwindigkeit des magnetischen  
 Flusses wie folgt:

*Gleichung* (6)  $\dot{\hat{\rho}} = \omega_{\text{Flux}} = \hat{\omega} + \frac{1}{p} \cdot \frac{v_{2\beta} \cdot \hat{\psi}_{m\alpha} - v_{2\alpha} \cdot \hat{\psi}_{m\beta}}{\hat{\psi}^2_{m\alpha} + \hat{\psi}^2_{m\beta}}$

wobei  $\frac{1}{p} \cdot \frac{v_{2\beta} \cdot \hat{\psi}_{m\alpha} - v_{2\alpha} \cdot \hat{\psi}_{m\beta}}{\hat{\psi}^2_{m\alpha} + \hat{\psi}^2_{m\beta}}$  das Drehzahlkorrekturglied 11 darstellt.

- Der Adoptionsblock 10 bildet Teil eines Annäherungsprozesses, bei dem die angenommene oder errechnete Drehzahl mit Hilfe des Motormodells 6a, des Drehzahlkorrekturgliedes 11 in Übereinstimmung mit der tatsächlichen Rotordrehzahl gebracht wird, bis das Drehzahlkorrekturglied zu Null wird.
- 10 Zusätzlich kann die Differenz zwischen der im Adoptionsblock 10 errechneten Rotordrehzahl und einer gemessenen Rotordrehzahl berücksichtigt werden, ein solches zusätzliches Drehzahlkorrekturglied 15 wird im Knotenpunkt 12 additiv mit dem Drehzahlkorrekturglied 11 verknüpft, was sich formelmäßig wie folgt darstellt :

15

*Gleichung* (7)  $\Delta\omega_{\text{mess}} = K_v \cdot (\hat{\omega} - \omega_{\text{Rotor}})$  wobei  
 $\Delta\omega_{\text{mess}}$  das zusätzliches Drehzahlkorrekturglied 15 bildet und  $K_v$  eine Konstante.

- Wenn keine gemessene Rotordrehzahl zur Verfügung steht ist dieses zusätzliches Drehzahlkorrekturglied 15 gleich Null. Kv stellt einen Verstärkungsfaktor dar, mit dem dieses zusätzliches Drehzahlkorrekturglied 15 einfließt.

- Zusätzlich kann gemäß Figur 5 die Drehzahl auch mittels eines Systemdrehzahländerungskorrekturglieds 13, welches aus einem Drehzahlmodell abgeleitet sein kann, bestimmt werden. Das Verfahren unterscheidet sich von dem anhand von Figur 4 vorbeschriebenen dadurch, dass

- Wenn der Motor beispielsweise mit konstanter Geschwindigkeit läuft und dass Drehzahlmodell zur Ermittlung der Drehzahl herangezogen wird, dann wird die Gleichung (8) Null ergeben, so dass dann das Drehzahlmodell im eigentlichen Sinne gar nicht zur Anwendung kommt,
- 5 sondern stattdessen die Drehzahl wie anhand von Figur 4 beschrieben ermittelt wird. Die Annahme, dass der Motor mit konstanter Drehzahl läuft, geht daher nicht über das anhand von Figur 4 beschriebene hinaus.
- 10 Die Gleichung (8) kann hingegen durch bestimmte Lastannahmen, beispielsweise durch den Lastzustand  $M_L = 0$  oder konst. vereinfacht werden. Das Lastmoment ist häufig nicht bekannt oder nur aufwändig ermittelbar. In vielen Fällen kann jedoch ein konstantes Lastmoment angenommen werden. Bei dieser Annahme hat das Systemdrehzahländerungskorrekturglied 13 dann folgende Form :
- 15

$$\text{Gleichung (9)} \quad \Delta\omega_{\text{System}} = \frac{1}{J} \cdot (M - K_4) \text{ wobei}$$

$\Delta\omega_{\text{System}}$  - das Systemänderungskorrekturglied und  
 $K_4$  - die Konstante sind.

- Die Konstante  $K_4$  ist Null, wenn das Lastmoment zu Null angenommen wird. Im Übrigen ist die Konstante  $K_4$  für den jeweiligen Aggregatyp und
- 20 -einsatz vorab zu ermitteln.

Das Antriebsmoment ist durch die Gleichung (10) bestimmt:

$$\text{Gleichung (10)} \quad M = K_2 \cdot (\psi_{m\alpha} \cdot i_\beta - \psi_{m\beta} \cdot i_\alpha),$$

in der  $K_2$  eine Konstante ist,

25

Der in der Klammer stehende Term in Gleichung (10) ist bereits aus dem Motormodell 6a bekannt. Setzt man die Gleichung (10) in die Gleichung (9) ein, so wird ersichtlich, dass man für diesen Fall (Annahme, dass das Lastmoment Null oder konstant ist) das Systemänderungs-

neben dem Adoptionsblock 10 ein aus dem Drehzahlmodell abgeleiteter Systemdrehzahldreherungskorrekturglied 13 tritt.

- Das Drehzahlmodell beinhaltet weitere Informationen über die mechanischen Zusammenhänge des Antriebssystems. Zweckmäßigerweise wird die Veränderung der Drehzahl, also die zeitliche Änderung der Rotorgeschwindigkeit durch eine mechanische Zustandsgleichung ausgedrückt, welche die vorerwähnten mechanischen Zusammenhänge berücksichtigt. Die Änderung der Drehzahl kann dabei durch folgende Gleichung im Drehzahlmodell 13 berücksichtigt werden :

<i>Gleichung</i>	(8)	$\dot{\omega} = \frac{1}{J} \cdot (M - M_L)$
<i>in der</i>	<i>M</i>	<i>das antreibende Moment</i>
	<i>M<sub>L</sub></i>	<i>das Lastmoment</i>
	<i>J</i>	<i>das Massenträgheitsmoment der rotierenden Last</i>
		<i>sind.</i>

- Diese an sich bekannte Zustandsgleichung besagt, dass eine Drehzahländerung nur dann erfolgt, wenn das Antriebsmoment größer als das Lastmoment ist oder umgekehrt, und dass diese Änderung dann abhängig von dem Differenzmoment sowie der dem Massenträgheitsmoment der rotierenden Last ist.

- 20 Diese zusätzliche Information führt in Verbindung mit dem Adoptions-  
block 10 bei sich ändernder Drehzahl schneller zum Ergebnis, bei dem  
die errechnete Drehzahl des Rotors der tatsächlichen Drehzahl ent-  
spricht und eignet sich somit besonders für hochdynamische An-  
triebsaufgaben. Das Drehzahlmodell setzt jedoch voraus, dass entspre-  
chende mechanische oder elektrische Größen zum Beispiel durch Mes-  
sen oder in anderer Weise zur Verfügung stehen. Dabei kann das Dreh-  
zahlmodell ggf. auch durch geschickt zu treffende Annahmen verein-  
facht werden.

korrekturglied 13 aus dem Motormodell 6a heraus berechnen kann. Man kann also ohne weitere Messung dieses Korrekturglied 13 bestimmen und somit die Drehzahl des Rotors schneller bzw. genauer berechnen. Es ist also besonders günstig, wenn das Antriebsmoment aus den 5 aus dem Motormodell 6a abgeleiteten Größen bestimmt werden kann.

Wird der Motor beispielweise in einem Kreiselpumpenaggregat eingesetzt, so kann das Lastmoment auf einfache Weise rechnerisch ermittelt werden, denn es ist durch die Gleichung (11) bestimmt:

10

$$\text{Gleichung (11)} \quad M_L = K_1 \cdot \omega^2, \\ \text{in der} \quad K_1 \quad \text{eine Konstante ist,}$$

die eine Beziehung zur Rotordrehzahl schafft. Auch hier können aus dem Motormodell 6a abgeleitete Größen in das Drehzahlmodell einfließen ohne dass weitere mechanische oder elektrische Messungen erforderlich sind. 15

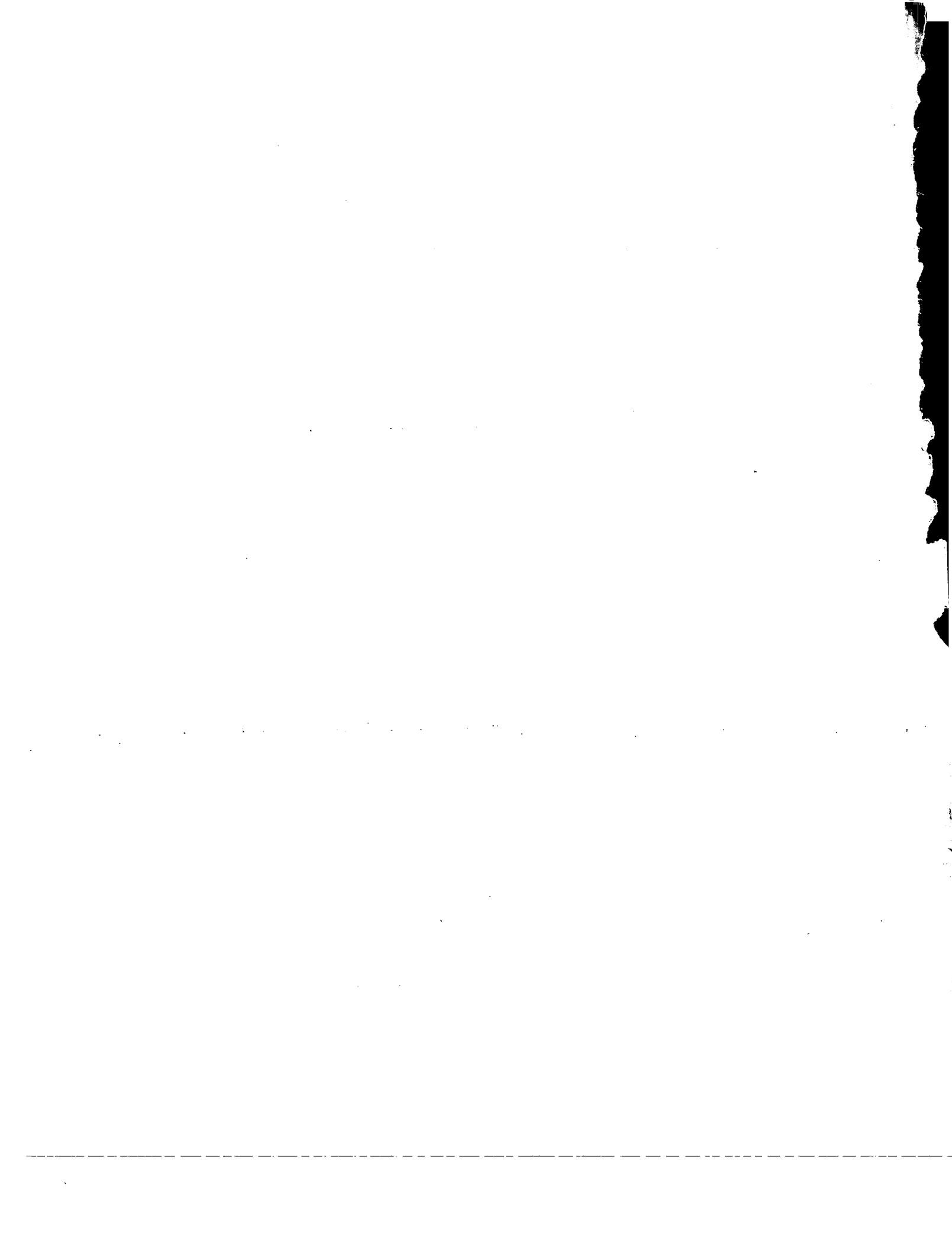
Ungeachtet dessen, ob die Drehzahl nur mittels des Adoptionsmodells 10 oder ergänzend auch Berücksichtigung eines Drehzahlmodells ermittelt wird, kann auch eine gemessene Drehzahl mit einfließen um schneller zum gewünschten Ergebnis zu gelangen oder die Genauigkeit der errechneten Werte zu erhöhen. Eine solche schnelle und genaue Erfassung von Motorbetriebsgrößen, wie sie durch das vorbeschriebene erfundungsgemäße Verfahren erfolgen können, ist die Voraussetzung für 20 eine dynamische und stabile Motoransteuerung. 25

Die vorbeschriebenen Verfahren können ohne weiteres softwaremäßig in eine digitale Motorelektronik implementiert werden. Das ständige 30 Erfassen und Speichern der entsprechenden elektrischen Werte des Motors, also der Motorströme und Spannungen zählt heute zum angewandten Stand der Technik, diese Daten stehen also steuerungsseitig

ohnehin zur Verfügung, so dass die vorliegende Erfindung ggf. ohne bauliche Veränderung innerhalb der digitalen Motorsteuerung angewendet werden kann um diese zu verbessern.

**Bezugszeichenliste**

1	-	Stator
5	2	- Rotor
	3	- Spule
	4	- Spule
	5	- Permanentmagnet
	6	- Motormodell 6a in Fig.
10	7	- Winkelkalkulator
	8	- Verknüpfung
	9	- Korrekturglied
	$\alpha$	- Richtung
	$\beta$	- Richtung
15	N	- Nordpol des Magneten
	S	- Südpol des Magneten
	10	- Adoptionsblock
	11	- Drehzahlkorrekturglied
	12	- Knotenpunkt
20	13	- Systemdrehzahländerungskorrekturglied
	14	- Knotenpunkt
	15	- zusätzliches Drehzahlkorrekturglied



**Ansprüche**

- 5 1. Verfahren zum Erfassen des magnetischen Flusses, der Rotorposition und/oder der Drehzahl des Rotors in einem Ein- oder Mehrphasenpermanentmagnet- oder -synchronmotor oder -generator unter Verwendung der Statorspannungsgleichungen

$$\text{Gleichung (1)} \quad L \cdot i_a = -R \cdot i_a + p \cdot \omega \cdot \psi_{m\beta} + u_a$$

$$\text{Gleichung (2)} \quad L \cdot i_\beta = -R \cdot i_\beta - p \cdot \omega \cdot \psi_{m\alpha} + u_\beta$$

<i>in denen</i>	<i>L</i>	<i>die Induktivität</i>
	<i>i<sub>a</sub></i>	<i>der Strom in Richtung α</i>
	<i>i<sub>β</sub></i>	<i>der Strom in Richtung β</i>
	<i>i<sub>a</sub></i>	<i>die zeitliche Ableitung des Stroms in Richtung α</i>
	<i>i<sub>β</sub></i>	<i>die zeitliche Ableitung des Stroms in Richtung β</i>
	<i>R</i>	<i>der ohmsche Widerstand</i>
	<i>p</i>	<i>die Polpaarzahl</i>
	<i>ω</i>	<i>die Drehzahl des Rotors</i>
	<i>ψ<sub>ma</sub></i>	<i>der magnetische Fluss in Richtung α</i>
	<i>ψ<sub>mβ</sub></i>	<i>der magnetische Fluss in Richtung β</i>
	<i>u<sub>a</sub></i>	<i>die Spannung in Richtung α</i>
	<i>u<sub>β</sub></i>	<i>die Spannung in Richtung β sind,</i>

dadurch gekennzeichnet, dass bei den Bestimmungen die Energieverhältnisse des Rotors (2) mit berücksichtigt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Energieverhältnisse im Magneten (5) des Rotors (2) durch folgende Energiegleichungen des Rotors berücksichtigt werden:

$$\text{Gleichung} \quad (3) \quad \dot{\psi}_{m\alpha} = -p \cdot \omega \cdot \psi_{m\beta}$$

$$\text{Gleichung} \quad (4) \quad \dot{\psi}_{m\beta} = p \cdot \omega \cdot \psi_{m\alpha}$$

wobei

$\dot{\psi}_{m\alpha}$  die zeitliche Ableitung von  $\psi_{m\alpha}$  und

$\dot{\psi}_{m\beta}$  die zeitliche Ableitung von  $\psi_{m\beta}$  sind.

10

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das durch die Gleichungen (1) bis (4) definierte Motormodell in Abhängigkeit von einem Vergleich zwischen errechneten Modellwerten (^) und gemessenen elektrischen und/oder mechanischen Werten mittels mindestens eines Korrekturglieds (9) korrigiert wird, so dass sich folgende Gleichungen ergeben:

$$\text{Gleichung} \quad (1a) \quad L \cdot \dot{i}_\alpha = -R \cdot i_\alpha + p \cdot \omega \cdot \psi_{m\beta} + u_\alpha + v_{1\alpha}$$

$$\text{Gleichung} \quad (2a) \quad L \cdot \dot{i}_\beta = -R \cdot i_\beta - p \cdot \omega \cdot \psi_{m\alpha} + u_\beta + v_{1\beta}$$

$$\text{Gleichung} \quad (3a) \quad \dot{\psi}_{m\alpha} = -p \cdot \omega \cdot \psi_{m\beta} + v_{2\alpha}$$

$$\text{Gleichung} \quad (4a) \quad \dot{\psi}_{m\beta} = p \cdot \omega \cdot \psi_{m\alpha} + v_{1\beta}$$

in denen  $v_{1\alpha}, v_{1\beta}, v_{2\alpha}, v_{1\beta}$  Korrekturglieder sind.

15

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die gemessenen elektrischen Werte die Motorströme sind.

20

5. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrekturglieder (9) aus je einem Korrekturfaktor und der Differenz zwischen gemessenen und errechneten Motorströmen gebildet sind.
- 5        6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrekturglieder (9) in den Gleichungen (3a) und (4a) in der einen Phase mittels der Differenz zwischen gemessenen und errechneten Strömen der anderen Phase gebildet wird, wobei das Korrekturglied in Gleichung (3a) mit negativem Vorzeichen eingeht.
- 10        7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehzahl sensorisch erfasst wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehzahl mit Hilfe eines Hallsensors ermittelt wird.
- 15        9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehzahl rechnerisch ermittelt wird, derart, dass die Differenz zwischen der Flussgeschwindigkeit und einer angenommenen Rotorgeschwindigkeit oder daraus abgeleiteter Größen als Drehzahlkorrekturglied (11) gebildet wird und die aktuelle Drehzahl durch einen Annäherungsprozeß daraus ermittelt wird.
- 20        10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Drehzahlkorrekturglied (11) mittels einer Drehzahlmessung korrigiert wird.



16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Drehzahlmodell durch eine mechanische Zustandsgleichung vorzugsweise der Form

$$\text{Gleichung (8)} \quad \dot{\omega} = \frac{1}{J} \cdot (M - M_L),$$

in der	<i>M</i>	<i>das antreibende Moment</i>
	<i>M<sub>L</sub></i>	<i>das Lastmoment</i>
	<i>J</i>	<i>das Massenträgheitsmoment der rotierenden Last sind,</i>

5

gebildet ist.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Lastmoment gleich Null gesetzt wird.
18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass auch das Antriebsmoment gleich Null gesetzt wird.
19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Lastmoment durch die

$$\text{Gleichung (11)} \quad M_L = K_1 \cdot \omega^2,$$

in der	<i>K<sub>1</sub></i>	<i>eine Konstante ist,</i>
--------	----------------------	----------------------------

- gebildet ist.
- 15 20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, das Antriebsmomentmoment durch die

Gleichung (10)  
in der

$$M = K_2 \cdot (\psi_{m\alpha} \cdot i_\beta - \psi_{m\beta} \cdot i_\alpha),$$

$K_2$  eine Konstante ist,

definiert ist.

EPO - Munich  
41  
18. Juli 2002

### Zusammenfassung

- Das Verfahren dient zum Erfassen des magnetischen Flusses, der Rotorposition und/oder der Drehzahl des Rotors in einem Ein- oder Mehrphasenpermanentmagnet- oder -synchronmotor oder -generator unter Verwendung der Statorspannungsgleichungen
- 5

$$\text{Gleichung (1)} \quad L \cdot i_{\alpha} = -R \cdot i_{\alpha} + p \cdot \omega \cdot \psi_{m\beta} + u_{\alpha}$$

$$\text{Gleichung (2)} \quad L \cdot i_{\beta} = -R \cdot i_{\beta} - p \cdot \omega \cdot \psi_{m\alpha} + u_{\beta}$$

- Es ist dadurch gekennzeichnet, dass bei den Bestimmungen die Energieverhältnisse des Rotors mit berücksichtigt werden, wodurch eine im Vergleich zu bekannten Verfahren wesentlich höhere Genauigkeit erreicht wird
- 10

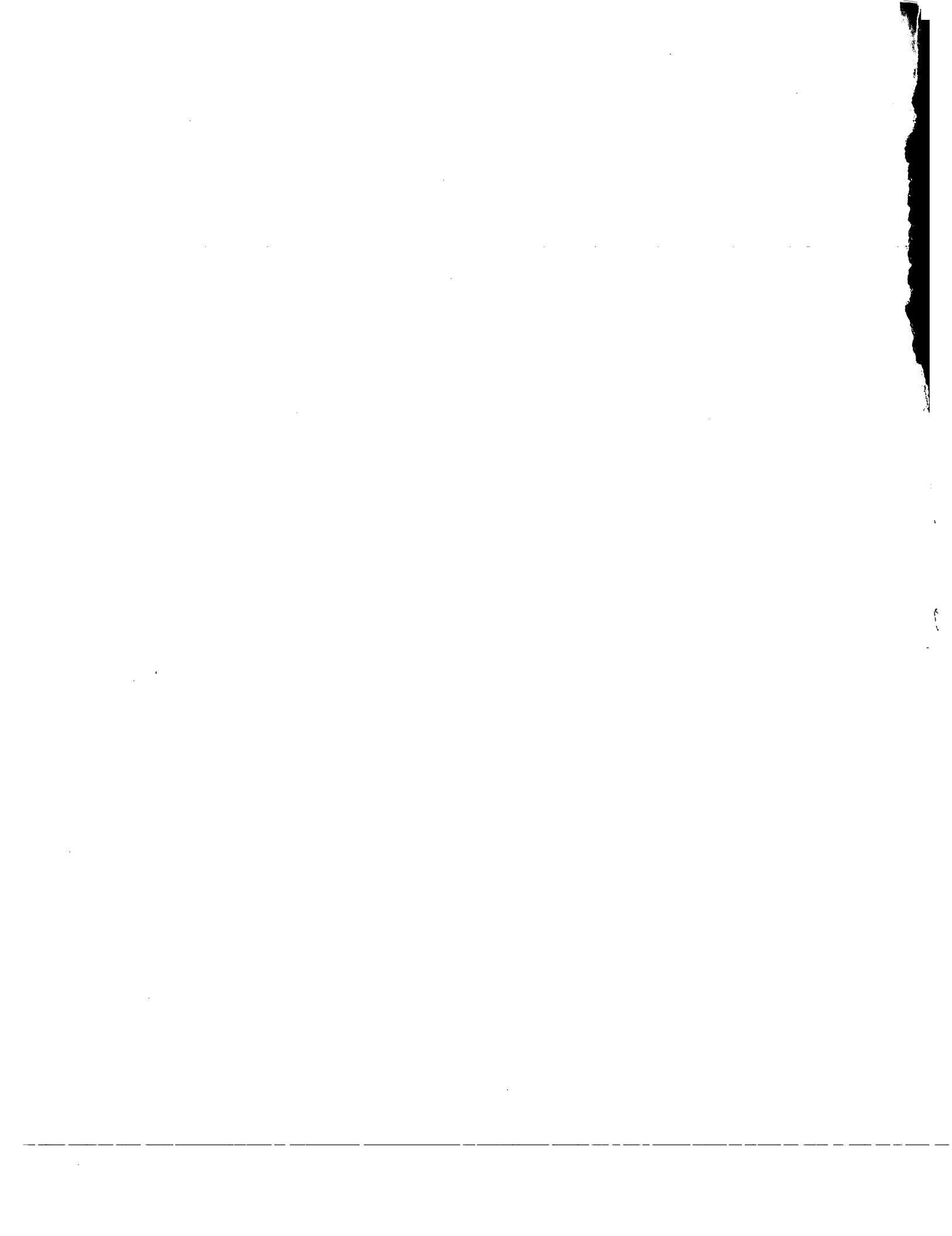


Fig. 1

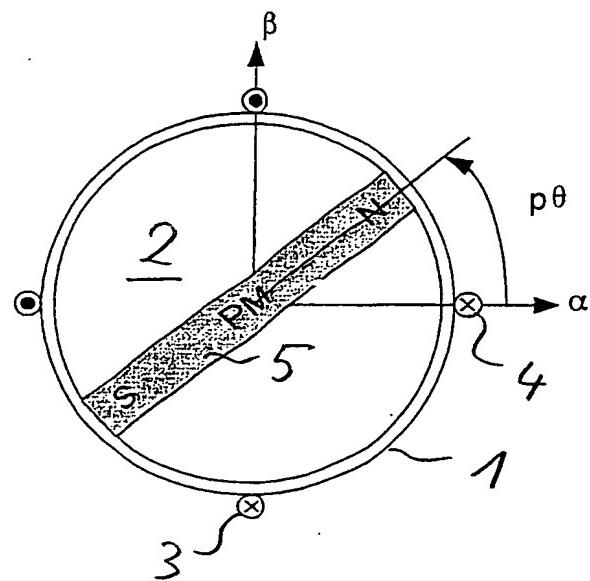


Fig. 2

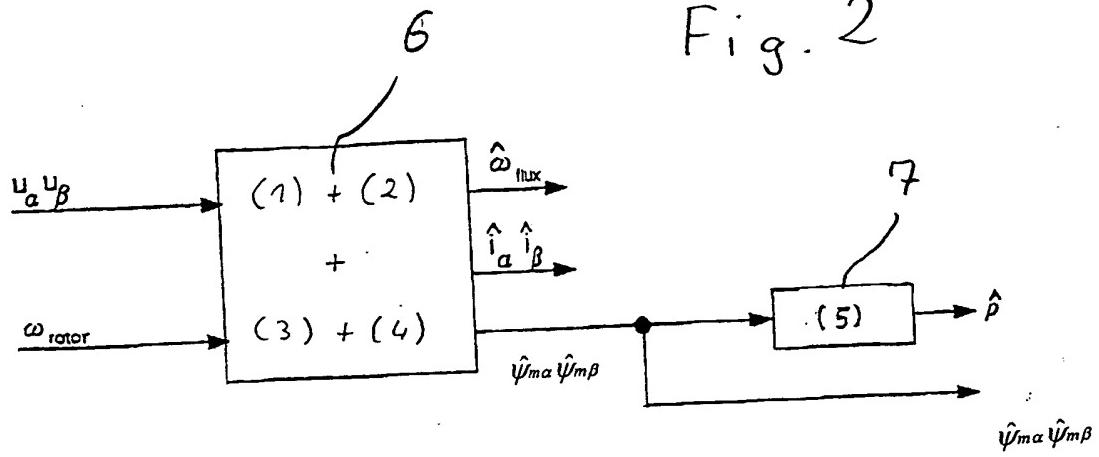


Fig. 3

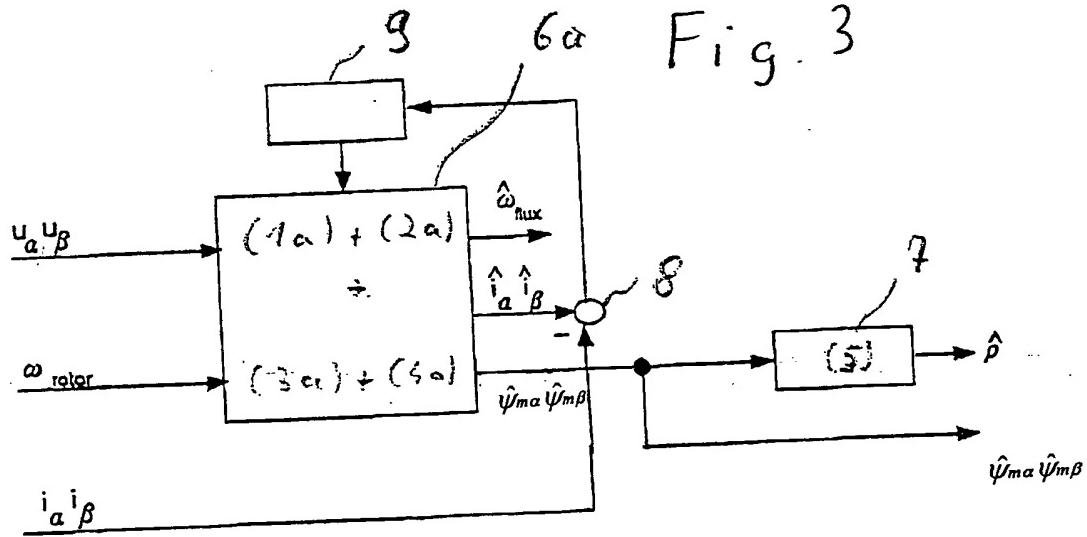


Fig. 4

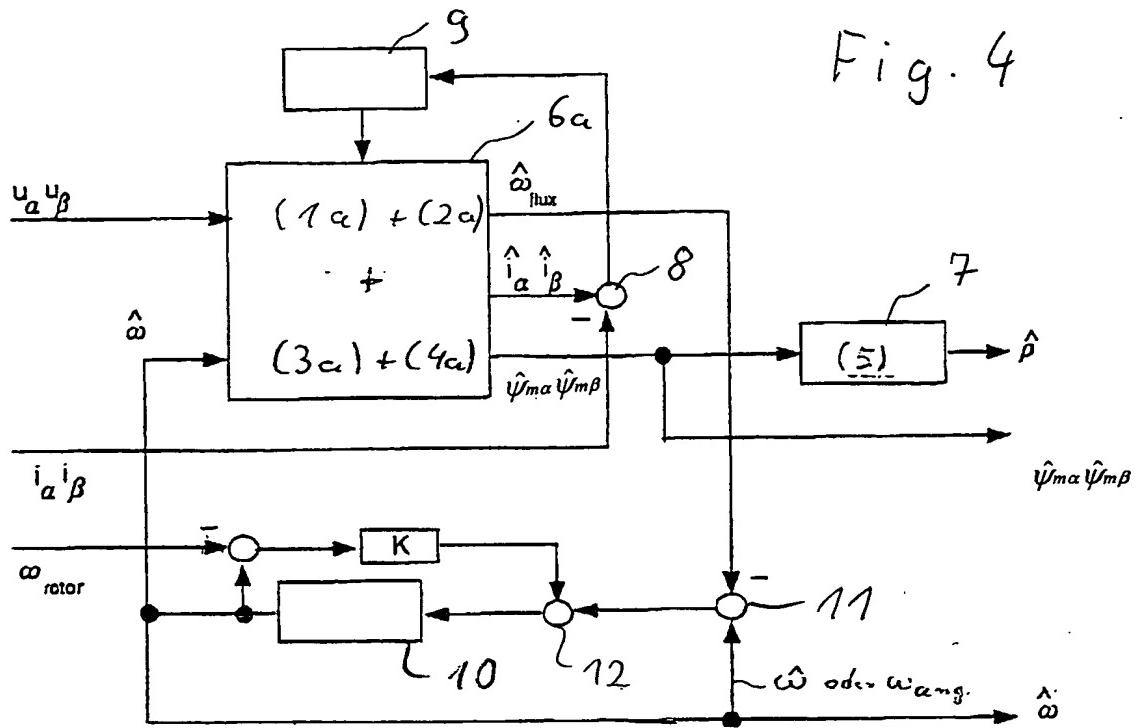


Fig. 5

